



# Formation professionnelle 'Sensibilisation à la qualité et à la métrologie'

A. Charki <sup>1</sup>, N. Delelign <sup>2</sup>, G. Calchera <sup>3</sup>

1 – CAFMET (Comité Africain de Métrologie)

2 – QuaRES (Qualité en Recherche et en Enseignement Supérieur)

3 – Cirad (Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement)

**FP-SE-Qualité & Métrologie**

Version du 16/10/2018

**Support établi dans le cadre du projet AFREQEN**

Droit d'auteur(s) : les textes sont disponibles sous licence Creative Commons CC-BY-SA (attribution, partage des conditions initiales à l'identique). En cas réutilisation des textes de cette page, voyez comment citer des auteurs et mentionner la licence et le nom du projet AFREQEN.





# Objectifs du cours

---

Sensibiliser à la qualité et à la métrologie

Donner un aperçu de l'utilité et de l'importance de la métrologie dans le domaine de la qualité.





# Sommaire

---

- Contexte et enjeux liés à la métrologie
- Définitions et organisation de la métrologie
- Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie
- Notions d'incertitude de mesure
- Déclaration de conformité
- Rôle d'une « Fonction Métrologique »
- Normes et références





# Sommaire

---

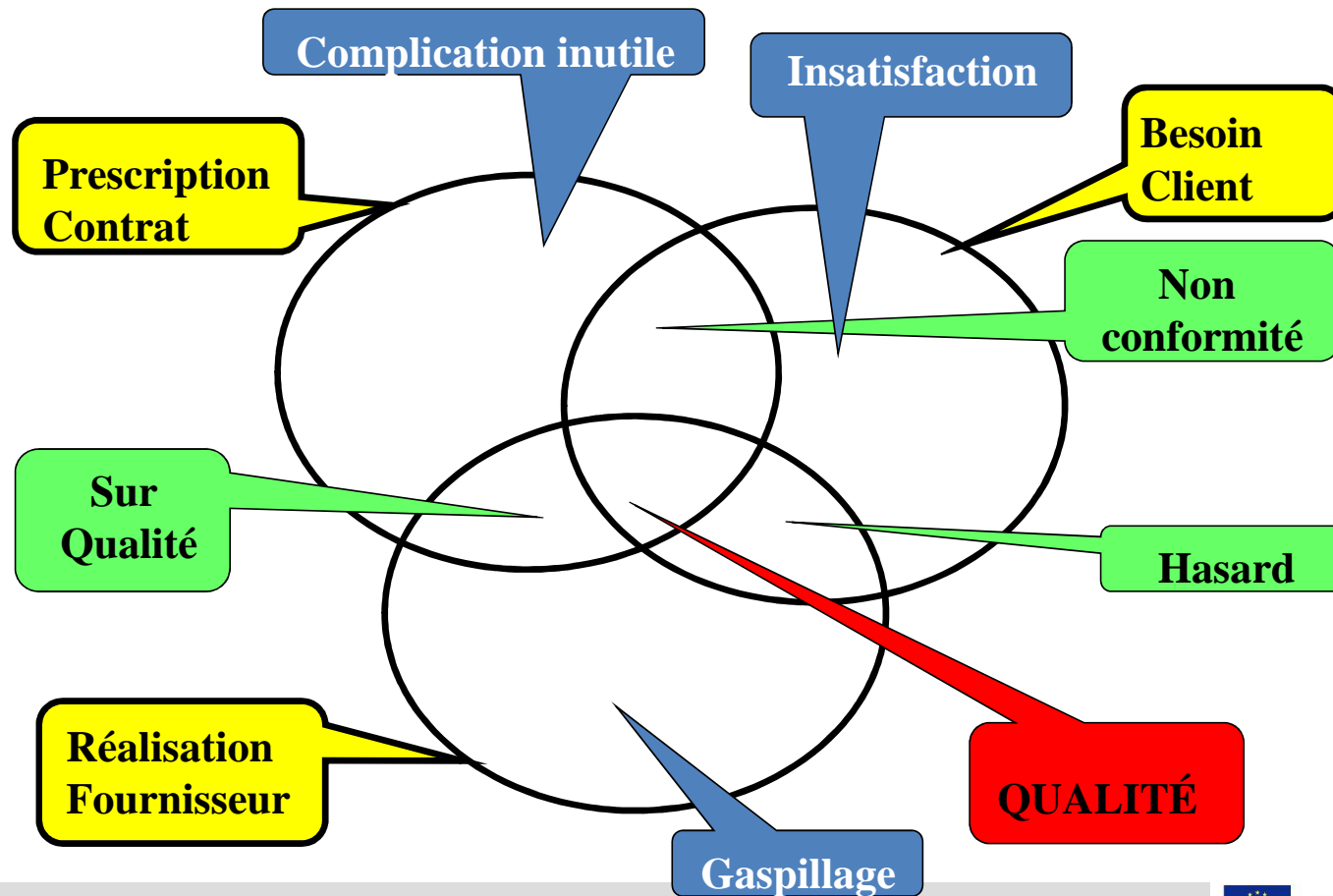
- Contexte et enjeux liés à la métrologie
- Définitions et organisation de la métrologie
- Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie
- Notions d'incertitude de mesure
- Déclaration de conformité
- Rôle d'une « Fonction Métrologique »
- Normes et références





## La mesure permet de fixer des bornes

5



5





## La métrologie ?

---

*« La métrologie est la science de la mesure, couvrant toutes les mesures effectuées, à un niveau d'incertitude établi, dans n'importe quel domaine de l'activité humaine. »*

*Brochure du Système international d'unités, CIPM ed.*





# La qualité

---

## Aptitude à satisfaire les exigences du client

- ↑ Satisfaction de conformité (au contrat ou à l'a priori)
- ↑ Satisfaction d'usage

## Capacité à instaurer la confiance

- ↑ Sentiment de sécurité dans la performance d'une entité
- ↑ de sécurité dans des résultats de mesure, contrôle, essais, analyse

-> *inspirer confiance (assurer conquête et fidélisation des clients)*

-> *avoir confiance (dans ses capacités, son organisation, ses résultats)*





## La question de confiance

---

*La mesure permet l'échange.*

*Or l'échange est source de richesse...*

*L'échange suppose la sécurité des transactions et la capacité de comparaison ; cette dernière opération est une forme de mesure*

*ex :*

*- mesure des grandeurs électriques (mesure physique avec un étalon)*







# La mesure « objective » : une clef pour les transactions

9



*Un enjeu décisif pour la  
loyauté des échanges*



**“Les bons comptes font les bons amis.”**

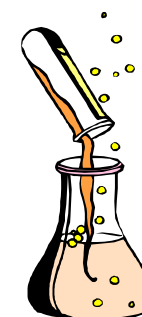
9





## La mesure est « garante » de la performance sportive

10



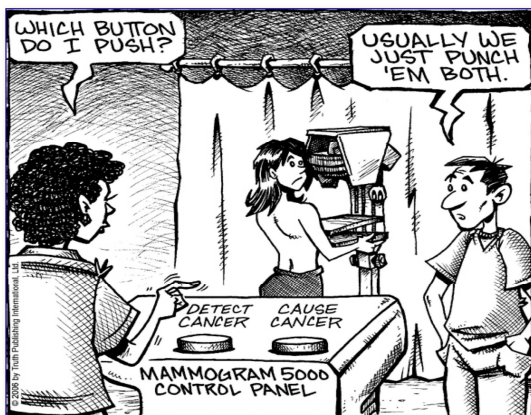
10





# La mesure « exacte » : une clef pour un monde plus sûr mesure

11





## Savoir anticiper les risques

---

*La mesure permet d'apprécier les risques →  
intérêt d'évaluer une incertitude de mesure*

- ☐ L'occurrence
- ☐ La capacité de détection
- ☐ La gravité





13

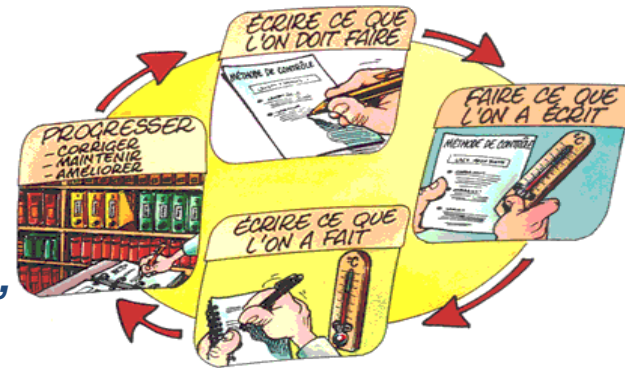
# On ne peut se passer de la métrologie

*On contrôle*

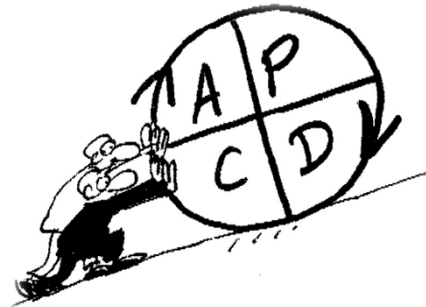


*On planifie,  
on contrôle,  
on prouve,  
on améliore*

*EN ASSURANCE QUALITÉ, IL FAUT :*



*On planifie  
stratégiquement,  
on prévient le risque,  
on prouve,  
on améliore*



13







## Comment construire la confiance dans les résultats I

14

- Définir, puis valider les méthodes de mesure, contrôle, essais, analyse
  - comparaisons intra ou inter-laboratoires
- Contrôler l'organisation de l'environnement de la mesure
  - management de la qualité (ISO 9000:2000, ISO 17025, etc.)
  - certification « tierce partie » : conformité à un référentiel spécifié
- Assurer la traçabilité
  - arrangement de reconnaissance mutuelle et chaînes d'étalonnage
- Evaluer l'incertitude de mesure
  - approche statistique de la mesure (GUM, ISO 5725)
  - niveau de confiance et risque d'erreur

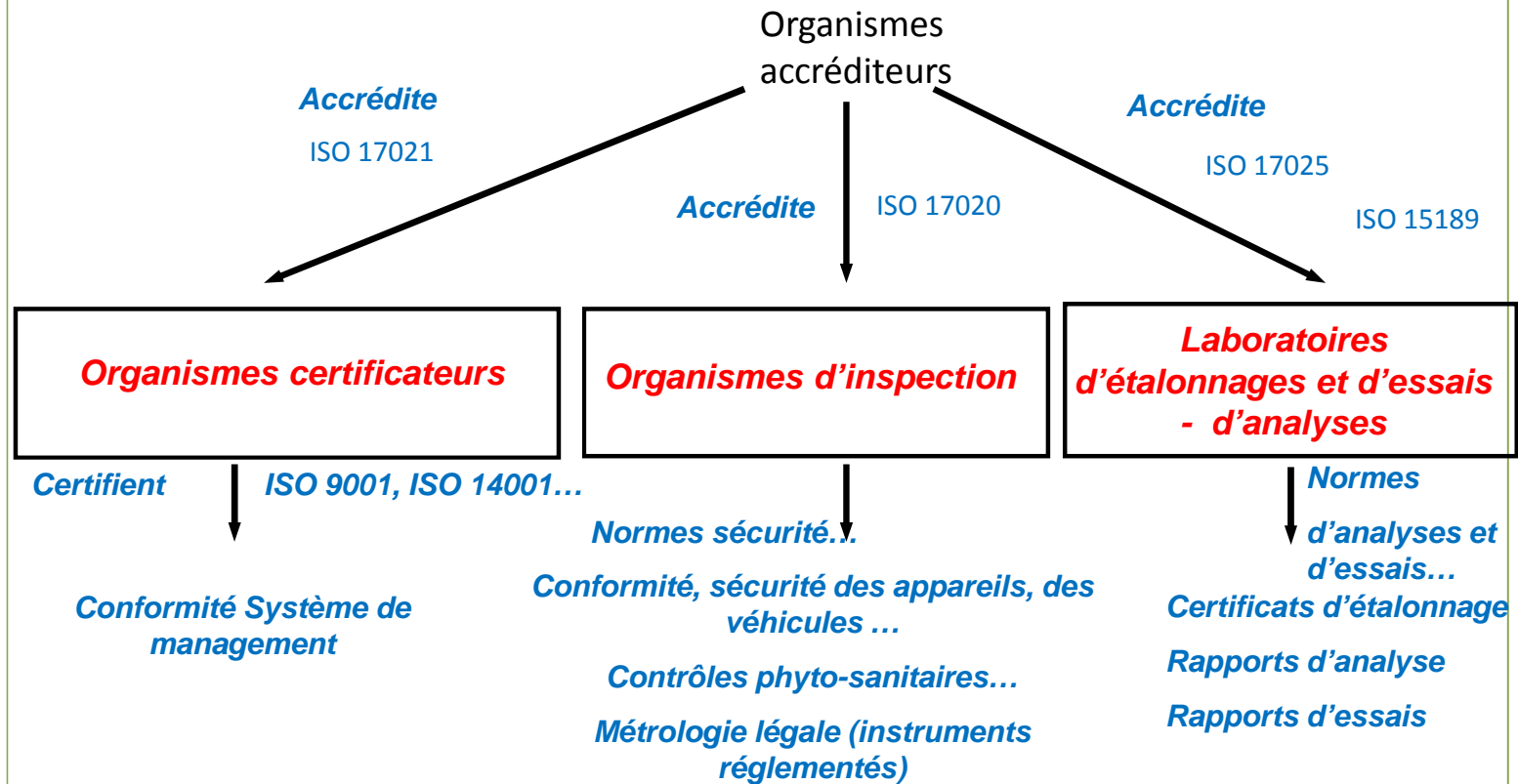
14





# Comment construire la confiance dans les résultats II

15



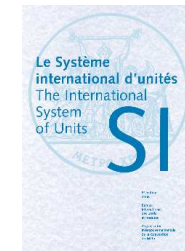


## Comment construire la confiance dans les résultats III

16

**Accréditer, c'est reconnaître après évaluation [technique et organisation] 'tierce partie' la *confiance qu'on peut accorder aux résultats obtenus***

- > *Avoir un accréditeur reconnu par ses paires*
- > *Avoir un laboratoire de métrologie reconnu compétent*
- > *Avoir une coordination nationale et internationale de la métrologie*



16







## Bien mesurer pour bien décider

Un résultat de mesure ou d'essai sert de base pour prendre une décision :  
acceptation ou rejet d'un produit, conformité d'un environnement...



### *Pourquoi des langages normalisés en métrologie ?*

La métrologie est un  
moyen de communication





---

La métrologie apporte une prise de conscience et développe  
une forme de philosophie :

Il s'agit de prendre conscience que toutes les mesures qui  
nous entourent sont incertaines...





# Sommaire

---

- Contexte et enjeux liés à la métrologie
- Définitions et organisation de la métrologie
- Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie
- Notions d'incertitude de mesure
- Déclaration de conformité
- Rôle d'une « Fonction Métrologique »
- Normes et références





# Définitions et organisation de la métrologie

20

La Métrologie est la **science** de la mesure associée à l'évaluation de son incertitude.

(Elle embrasse tous les aspects théoriques et pratiques se rapportant aux mesurages à tous les niveaux d'incertitude et dans tous les domaines des sciences et de la technologie).

« La métrologie est la science de la mesure, couvrant toutes les mesures effectuées, à un niveau d'incertitude établi, dans n'importe quel domaine de l'activité humaine. »

Brochure du Système international d'unités, CIPM ed.





# Définitions et organisation de la métrologie

---

21

## *Les différents types de métrologie*





## Définitions et organisation de la métrologie

22

### Métrologie Légale :

Partie de la métrologie se rapportant aux activités qui résultent d'exigences réglementaires et qui s'appliquent aux mesurages, aux unités de mesure aux instruments de mesure et aux méthodes de mesure et sont effectuées par des organismes compétents.

Elle traite de l'exactitude des mesures susceptibles d'affecter la santé, la sécurité ou les transactions économiques.

### Exemple :

*on peut citer la norme CEI 60 736 : Document applicable aux équipements triphasés et/ou monophasés utilisés pour les essais de type et les essais de réception des compteurs d'énergie électrique des classes 0,5, 1 et 2.*





## Définitions et organisation de la métrologie

23

### Détermination de l'erreur d'un EEC (Equipement d'Etalonnage des Compteurs) :

L'erreur d'un EEC neuf, à un point de mesure donné, doit être inférieure à l'erreur ***E<sub>max</sub>*** du tableau ci-dessous :

#### Limites admises des erreurs en pourcentage

Classe de compteurs	0,5			1			2		
Facteur de puissance	1	0,5 inductif	0,5 capacitif	1	0,5 inductif	0,5 capacitif	1	0,5 inductif	0,5 capacitif
<i>E<sub>max</sub></i>	± 0,10	± 0,15	± 0,20	± 0,20	± 0,30	± 0,40	± 0,30	± 0,45	± 0,60





# Définitions et organisation de la métrologie

24

## Métrologie Scientifique:

- Organisation, développement et maintien des étalons nationaux et internationaux matérialisant les unités (Grandeur prise comme référence de mesure).
- Recherche Scientifique dans les laboratoires primaires.

## Métrologie Industrielle:

Assure le fonctionnement correct des instruments de mesure utilisés dans l'industrie tels que le process de conception, de test ou de production. Elle s'applique à la métrologie :

- Electrique, Dimensionnelle, Thermique, des masses,
- Des Forces, des pressions, des Volumes, de l'humidité
- Chimique.....







# Définitions et organisation de la métrologie

25

## Bureau International des Poids et Mesures (BIPM):

- Organisation internationale indépendante
- Chargée de créer un ensemble de références précises, acceptées par tout le monde et accessibles dans tous les domaines
- Créé le 20 Mai 1875 sur un accord entre plusieurs pays.
- Les états représentés s'engagent à utiliser et à diffuser le système métrique en vue de concourir à l'uniformité des mesures dans le monde

## Organisation Internationale de la Métrologie Légale (OIML):

- Créée en 1955, son siège est situé à Paris
- Chargée d'harmoniser au niveau international les règlements métrologiques, les méthodes et les moyens de contrôle des instruments
- L'OIML produit des recommandations internationales qui définissent les performances à atteindre par les instruments
- Les pays peuvent ensuite fonder leur propre réglementation sur ces recommandations internationales





# Définitions et organisation de la métrologie

---

26

## Système International d'Unités, S.I.

### Composé de 7 unités de base:

Le Kilogramme	(kg)
Le Kelvin	(K)
Le Mètre	(m)
La Seconde	(s)
L' Ampère	(A)
La Candela	(cd)
La Mole	(mol)





## Définitions et organisation de la métrologie

27

### Traçabilité :

« Propriété du résultat d'un mesurage ou d'un étalon tel qu'il puisse être relié à des références déterminées, généralement des étalons nationaux ou internationaux, par l'intermédiaire d'une chaîne ininterrompue de comparaisons ayant toutes les incertitudes déterminées ».

Etablie par des raccordements successifs à des *étalons de référence*, jusqu'aux *étalons nationaux*, la traçabilité permet d'assurer la cohérence avec les résultats de mesures qui seraient obtenus à d'autres moments, en d'autres lieux et avec d'autres instruments de mesure.

Afin d'offrir à l'instrumentation la possibilité de se raccorder à une structure officielle couvrant l'ensemble de la métrologie et des mesures, un Organisme National de Métrologie (ONM) doit être mis en place et qui aura la tâche d'élaborer **et de mettre en œuvre les outils permettant d'assurer la cohérence nationale et internationale des mesures.**





## Définitions et organisation de la métrologie

---

28

**Accréditation** consiste en une attestation délivrée par une tierce partie, ayant rapport à un organisme d'évaluation de la conformité, constituant une **reconnaissance formelle de la compétence** de ce dernier à réaliser des activités spécifiques d'évaluation de la conformité.

**Certification** est une procédure par laquelle une tierce partie donne **une assurance écrite** qu'un produit, un processus ou un service est conforme à des exigences spécifiées.

### Exemple d'organismes accréditeurs:

- ☐ TUNAC en Tunisie,
- ☐ ALGERAC en Algérie,
- ☐ SEMAC au Maroc,
- ☐ ...





# Définitions et organisation de la métrologie

29

## Quelques organismes d'Accréditation en Afrique

**En Tunisie:** TUNAC (Reconnaissance par l'Organisation Européenne d'Accréditation-EA-et par l'Organisation Internationale des Accréditeurs de Laboratoire-ILAC-).



**En Algérie :** ALGERAC Reconnu EA-ILAC



**Au Maroc :** SEMAC



**En Afrique du Sud :** SANAS - South African National Accreditation System



**AFRAC :** couvre la région Afrique pour l'accréditation des laboratoires d'étalonnage et des organisateurs de programmes d'essais d'aptitude



**SOAC :** Système Ouest Africain d'Accréditation





# Sommaire

---

- Contexte et enjeux liés à la métrologie
- Définitions et organisation de la métrologie
- Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie
- Notions d'incertitude de mesure
- Déclaration de conformité
- Rôle d'une « Fonction Métrologique »
- Normes et références

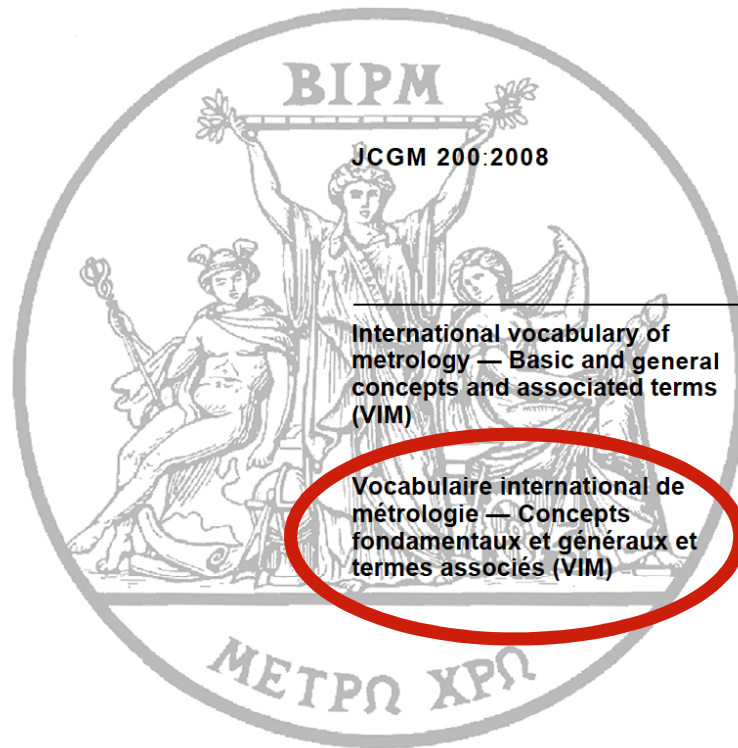




# Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

31

## Métrologie ?





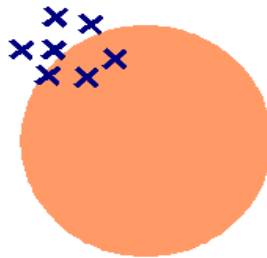
# Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

## Vocabulaire associé à l'Instrument de Mesure

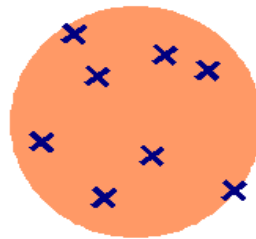
**Exactitude** : Aptitude d'un instrument de mesure à donner des réponses proches d'une valeur vraie.

**Fidélité** : Aptitude d'un instrument de mesure à donner des indications très voisines lors de l'application répétée du même mesurande dans les mêmes conditions de mesure.

**Justesse** : Aptitude d'un instrument de mesure à donner des indications exemptes d'erreurs systématiques.



Fidélité



Justesse



Exactitude

Instrument de mesure  
juste et fidèle







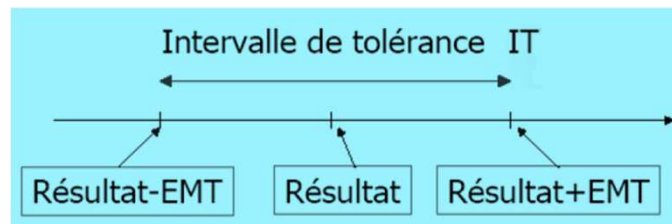
## Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

**Condition de référence** : Conditions d'utilisation prescrites pour les essais de fonctionnement d'un instrument de mesure pour l'inter-comparaison de résultats de mesure.

**Résolution** : La plus petite différence d'indication d'un dispositif afficheur qui peut être perçue de manière significative.

**Dérive** : Variation lente d'une caractéristique métrologique d'un instrument.

**Erreur Maximale Tolérée EMT** : Valeurs extrêmes d'une erreur tolérée par les spécifications, règlements, etc..., pour un instrument de mesure donné.





# Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

## Vocabulaire associé à la mesure

**Mesurage** : Ensemble des opérations ayant pour but de déterminer une valeur d'une grandeur.

**Mesurande** : Grandeur particulière soumise à un mesurage.

**Valeur Vraie** : Valeur compatible avec la définition d'une grandeur particulière donnée.

**Exactitude de Mesure** : Etroitesse de l'accord entre le résultat d'un mesurage et une valeur vraie du mesurande.





## Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

Erreur de Mesure : Résultat d'un mesurage moins une valeur vraie du mesurande .

Erreur Aléatoire : Résultat d'un mesurage moins la moyenne d'un nombre infini de mesurages du même mesurande, effectués dans les conditions de répétabilité .

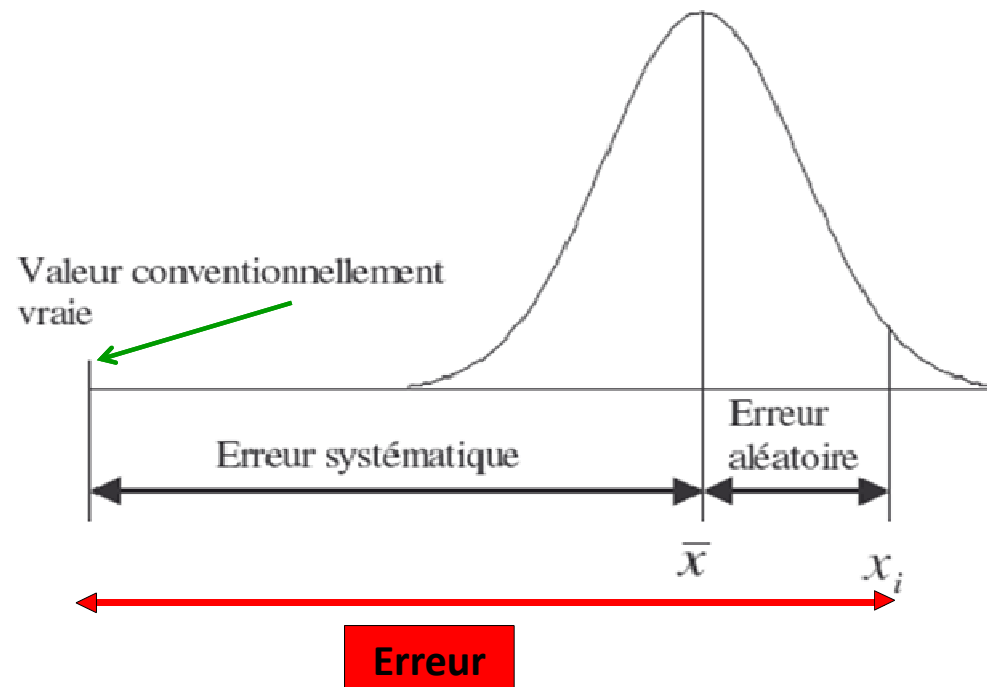
Erreur Systématique : Moyenne qui résulterait d'un nombre *infini* de mesurages du même mesurande, effectués dans les conditions de répétabilité, moins une valeur vraie du mesurande.





# Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

## Les Erreurs : Aléatoire et Systématique





## Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

**Répétabilité** : Etroitesse de l'accord entre les résultats des mesurages successifs du même mesurande, mesurages effectués dans la totalité des mêmes conditions de mesure.

*2- Les conditions de répétabilité comprennent :*

- même mode opératoire*
- même observateur*
- même instrument de mesure utilisé dans les mêmes conditions*
- même lieu*
- répétition durant une courte période de temps.*





# Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

**Reproductibilité** : Etroitesse de l'accord entre les résultats des mesurages du même mesurande, mesurages effectués en faisant varier les conditions de mesure.

*2- Les conditions que l'on fait varier peuvent comprendre :*

- principe de mesure*
- méthode de mesure*
- observateur*
- instrument de mesure*
- étalon de référence*
- lieu*
- conditions d'utilisation*
- temps*





## Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

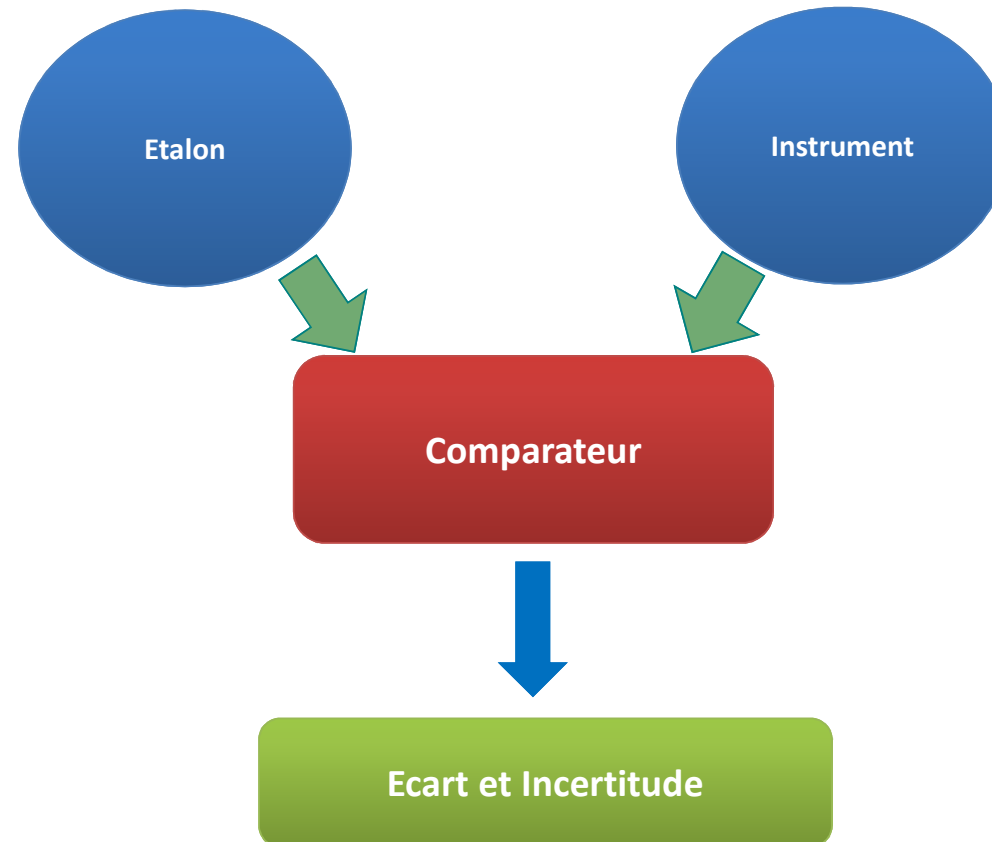
**Etalonnage** : opération qui, dans des conditions spécifiées, établit en une première étape une relation entre les valeurs et les incertitudes de mesure associées qui sont fournies par des étalons et les indications correspondantes avec les incertitudes associées, puis utilise en une seconde étape cette information pour établir une relation permettant d'obtenir un résultat de mesure à partir d'une indication





## Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

40







## Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

**Etalonnage** : opération qui, dans des conditions spécifiées, établit en une première étape une relation entre les valeurs et les incertitudes de mesure associées qui sont fournies par des étalons et les indications correspondantes avec les incertitudes associées, puis utilise en une seconde étape cette information pour établir une relation permettant d'obtenir un résultat de mesure à partir d'une indication

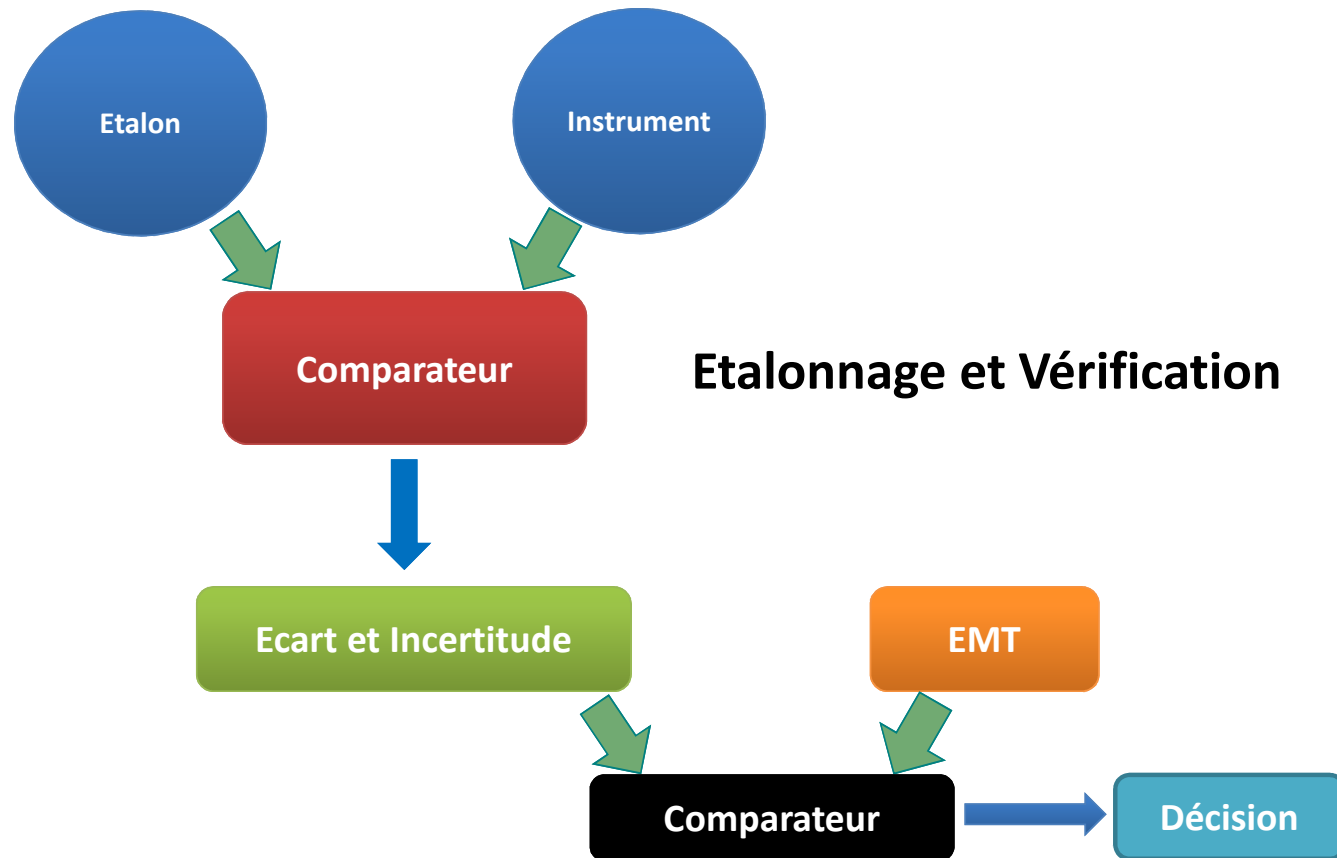
**Vérification** : fourniture de preuves tangibles qu'une entité donnée satisfait à des exigences spécifiées.

confirmation par examen et établissement des preuves que les exigences spécifiées ont été satisfaites.





## Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie





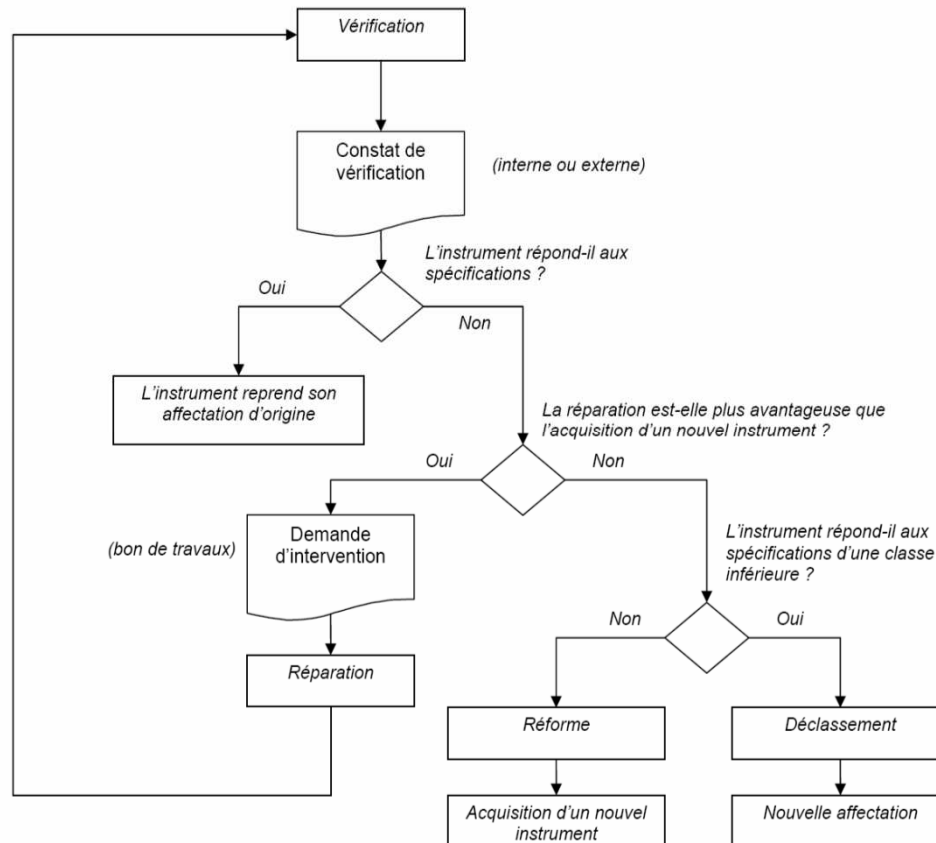
# Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

43

## Vérification et Décision

Le résultat d'une vérification se traduit par une décision de remise en service, d'ajustage, de réparation, de déclassement ou de réforme.

Dans tous les cas, une trace écrite de la vérification doit être conservée dans le dossier individuel de l'appareil de mesure.





## Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

**Etalon primaire** : « étalon qui est désigné ou largement reconnu comme présentant les plus hautes qualités métrologiques et dont la valeur est établie sans se référer à d'autres étalons de la même grandeur ».

**Etalon national** : « étalon reconnu par une décision nationale, dans un pays, pour servir de base à l'attribution de valeurs aux autres étalons de la grandeur concernée ».

**Etalon de référence** : « étalon, en général de la plus haute qualité métrologique disponible en un lieu donné ou dans une organisation donnée, dont dérivent les mesurages qui y sont faits ».

**Etalon secondaire** : « étalon dont la valeur est établie par comparaison à un étalon primaire de la même grandeur ».

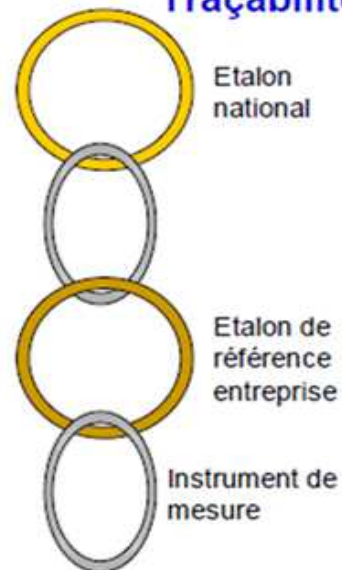




## Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie

**Traçabilité** : PROPRIÉTÉ DU RESULTAT D'UN MESURAGE OU D'UN ETALON TEL QU'IL PUISSE ETRE RELIE A DES REFERENCES DETERMINEES, GENERALEMENT DES ETALONS NATIONAUX OU INTERNATIONAUX, PAR L'INTERMEDIAIRE D'UNE CHAÎNE ININTERROMPUE DE COMPARAISONS AYANT TOUTES DES INCERTITUDES DETERMINEES.

### Traçabilité métrologique



Propriété d'un **résultat de mesure** selon laquelle ce résultat peut être relié à une référence par l'intermédiaire d'une chaîne ininterrompue et documentée **d'étalonnages** dont chacun contribue à **l'incertitude de mesure**





# Sommaire

---

- Contexte et enjeux liés à la métrologie
- Définitions et organisation de la métrologie
- Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie
- Notions d'incertitude de mesure
- Déclaration de conformité
- Rôle d'une « Fonction Métrologique »
- Normes et références





## Notions d'incertitude de mesure

---

L'incertitude est l'**estimation** de la **confiance** donnée à un résultat de mesure

↙  
**Notion quantitative**

↘  
**On peut apporter un crédit au résultat**

La métrologie : « la **confiance** dans la **mesure** »,  
peut aussi se lire : « la **mesure** dans la **confiance** ».





## Notions d'incertitude de mesure

---

La métrologie facilite la recherche de la **valeur vraie**

Mais :

**Tout est (un peu) faux**

ou plutôt

**rien n'est (complètement) vrai !**

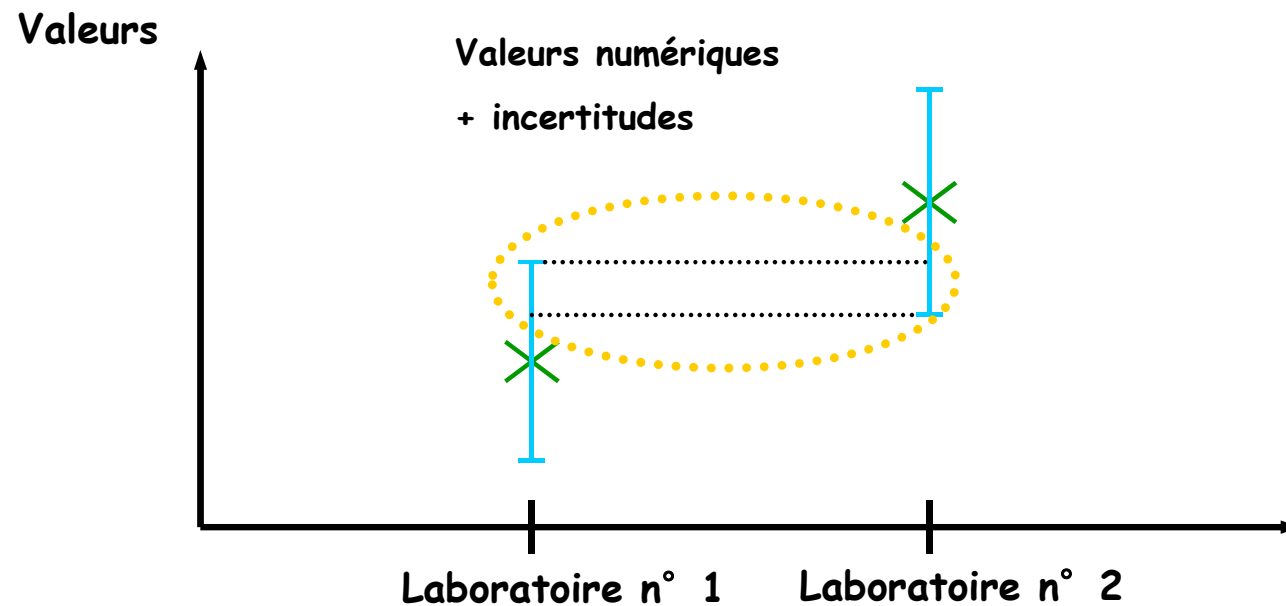






# Notions d'incertitude de mesure

*Pourquoi s'intéresser à l'incertitude de mesure ?*





## Notions d'incertitude de mesure

---

*Pourquoi s'intéresser à l'incertitude de mesure ?*





## Notions d'incertitude de mesure

---

- La valeur mesurée n'est jamais la valeur attendue
- Évaluer l'intervalle, positionné par rapport à la valeur mesurée, dans lequel il est probable que cette valeur attendue figure
- Les facteurs d'influence : c'est la définition de ces différents facteurs qui conduit à l'imperfection de la mesure ou à l'**incertitude de mesure**



paramètre non négatif qui caractérise la dispersion des valeurs attribuées à un mesurande, à partir des informations utilisées.





# Notions d'incertitude de mesure

## *Incertitude (VIM 2012)*

incertitude de mesure,  $f$

**paramètre non négatif qui caractérise la dispersion des valeurs attribuées à un mesurande, à partir des informations utilisées**

NOTE 1 L'incertitude de mesure comprend des **composantes** provenant d'effets systématiques, telles que les composantes associées aux corrections et aux valeurs assignées des étalons, ainsi que l'incertitude définitionnelle. **Parfois, on ne corrige pas** des effets systématiques estimés, mais on insère plutôt des composantes associées de l'incertitude.

NOTE 2 **Le paramètre peut être, par exemple, un écart-type appelé incertitude-type (ou un de ses multiples) ou la demi-étendue d'un intervalle ayant une probabilité de couverture déterminée.**

NOTE 3 L'incertitude de mesure comprend en général de nombreuses composantes. Certaines peuvent être évaluées par une **évaluation de type A** de l'incertitude à partir de la distribution statistique des valeurs provenant de séries de mesurages et peuvent être caractérisées par des écarts-types. Les autres composantes, qui peuvent être évaluées par une **évaluation de type B** de l'incertitude, peuvent aussi être caractérisées par des écarts-types, évalués à partir de fonctions de densité de probabilité fondées sur l'expérience ou d'autres informations.

NOTE 4 En général, pour des informations données, on sous-entend que l'incertitude de mesure est associée à une valeur déterminée attribuée au mesurande. Une modification de cette valeur entraîne une modification de l'incertitude associée.

**VIM 1994 : Paramètre, associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient être raisonnablement attribuées au mesurande**





# Notions d'incertitude de mesure

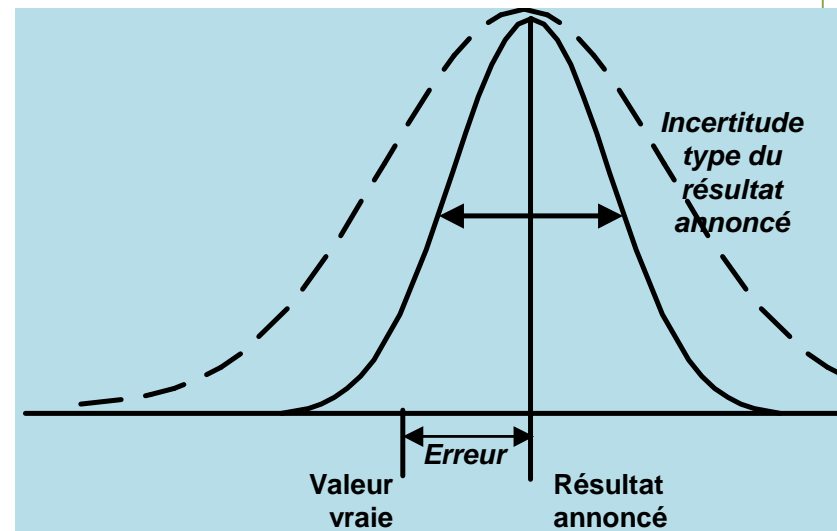
## Dispersion d'un processus de mesure

Approche traditionnelle : les « 5 M »

- Milieu
- Moyen
- Méthode
- Main d'œuvre
- Matière

D'autres « M » sont possibles, même souhaitables :

- Marché
- Management
- Monnaie





# Notions d'incertitude de mesure

---

L'incertitude, c'est :

- Le niveau de confiance de la mesure
- L'assurance que la mesure est compatible avec le besoin

L'incertitude, ce n'est pas :

- La recherche de la meilleure « précision » possible





# Notions d'incertitude de mesure

---

## *Pourquoi évaluer l'incertitude de mesure ?*

Des textes de référence l'imposent :

- Bonnes pratiques
- ISO/CEI 17025 (accréditation) «... les rapports d'essais doivent inclure une déclaration relative à l'incertitude de mesure ... »
- ISO 22000
- ISO/CEI 17020
- ISO 11465 (détermination d'humidité) «...peser à 1 mg près...»
- ... et bientôt l'ISO 9001





# Notions d'incertitude de mesure

---

## *Pourquoi évaluer l'incertitude de mesure ?*

Des clients le demandent :

- pour **caractériser les résultats avant de publier**  
exemple:  $(36,2 \pm 0,5)$  mg de cadmium / kg de sol
- pour **comparer des résultats entre eux**  
exemple: teneur en calcium dans un même échantillon  
date 1 : **5,24** mg / kg      date 2 : **4,92** mg / kg  
y a-t-il évolution ?

**OUI** si Incertitude  $< \pm 0,16$  mg / kg







# Notions d'incertitude de mesure

---

## *Pourquoi évaluer l'incertitude de mesure ?*

Elles aident l'entreprise ou le laboratoire à prendre des **décisions** pour :

- **justifier** ou non une **réclamation** client sur un résultat rendu
- déclarer un **équipement** ou un **produit CONFORME** ou **NON CONFORME**
- **Choisir l'équipement adapté** pour une analyse





# Notions d'incertitude de mesure

---

Mesurer => valeur + unité + incertitude

*Ne pas confondre :*

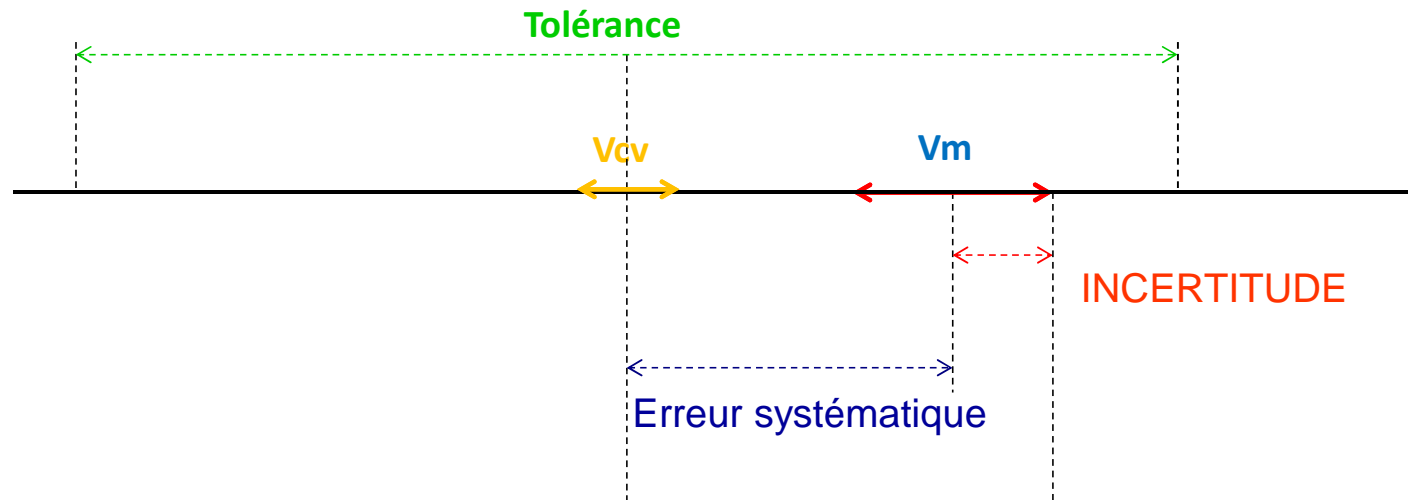
- incertitude et erreur
- unité et étalon
- mesure et essai
- étalonnage et vérification





# Notions d'incertitude de mesure

Lorsque l'on fait une **mesure**



**V<sub>cv</sub>** = Valeur Conventionnellement Vraie

**V<sub>m</sub>** = Valeur Mesurée





## Notions d'incertitude de mesure

On appelle une erreur de mesure, notée  $\epsilon$ , l'écart entre le résultat  $x$  de la mesure de la grandeur et **sa valeur vraie**  $\chi$  :

$$\epsilon = x - \chi$$

$$\epsilon = x - \chi = \epsilon_A + \epsilon_S$$

$\epsilon_A$  : **ERREURS ALEATOIRES** : dues à de nombreux phénomènes non contrôlables.

$\epsilon_S$  : **ERREURS SYSTEMATIQUES** : en général constantes lorsqu'on répète plusieurs fois la mesure dans des conditions macroscopiquement inchangées.

$\epsilon_A$  et  $\epsilon_S$  **sont inconnues.**





## Notions d'incertitude de mesure

Par définition, une **correction** de mesure  $C_i$  est l'estimation  $e_{Si}$  de  $\varepsilon_{Si}$ ,

changée de signe :  $C_i = - e_{Si}$

### INCERTITUDE DE MESURE

Les termes correspondants à l'erreur aléatoire  $\varepsilon_A$  et à l'erreur résiduelle  $\varepsilon_B$ , inconnues en signe et en valeurs, introduisent un doute sur le résultat de mesure.

L'incertitude de mesure exprime le manque de connaissance exacte de la valeur d'une grandeur.





## Notions d'incertitude de mesure

### Loi de propagation des incertitudes (cas général)

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

- A partir de  $x_1, x_2, \dots, x_n$  le modèle permet de connaître  $y$
- A partir de  $u_{x1}, u_{x2}, u_{xn}$  la loi de propagation permet d'estimer  $u_y$

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]^2 u^2(x_i) + \underbrace{2 \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} \right] u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j)}_{\text{Corrélation entre } x_1, x_2, \dots, x_n}$$





# Notions d'incertitude de mesure

## Démarche structurée en quatre étapes

- ✓ **1<sup>ère</sup> Etape : LE MESURANDE et LE MODELE**
  - Définition du mesurande,
  - L'analyse du processus de mesure,
  - Le modèle mathématique du processus de mesure.
- ✓ **2<sup>ème</sup> Etape : CALCULS DES INCERTITUDES – TYPES**
  - Les méthodes d'évaluation de type A et de type B.
- ✓ **3<sup>ème</sup> Etape : DETERMINATION DE L'INCERTITUDE COMPOSEE**
  - Loi de propagation des incertitudes.
- ✓ **4<sup>ème</sup> Etape : EXPRIMER LE RESULTAT ET SON INCERTITUDE**
  - Exprimer le résultat et son incertitude.

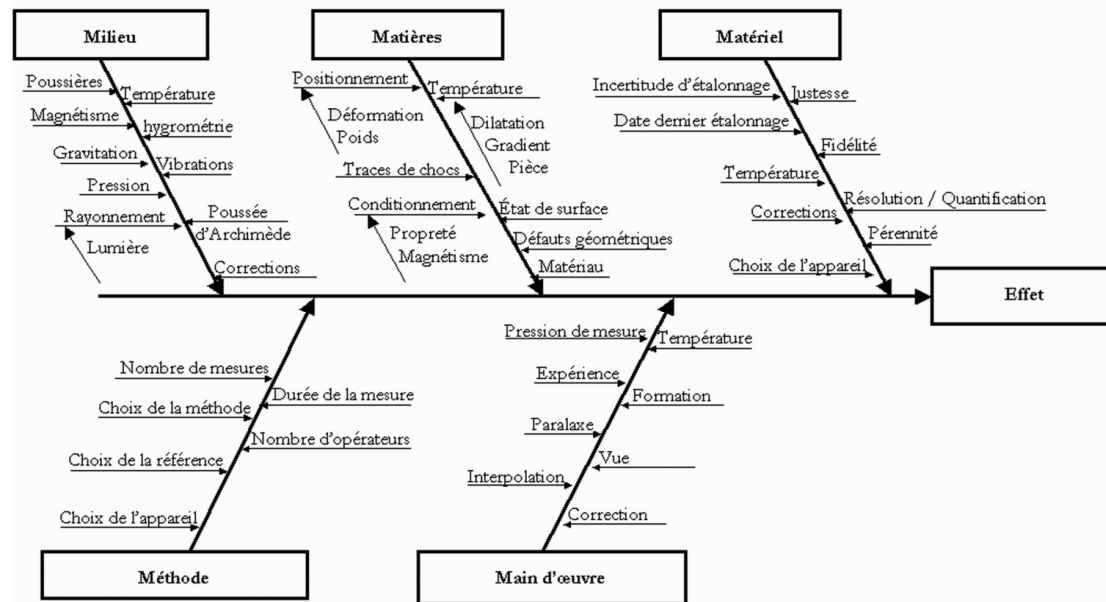




# Notions d'incertitude de mesure

(Fascicule de documentation FD X 07-021 édité par l'AFNOR)

■ 5.4.6.3: Lorsqu'on estime l'incertitude de mesure, il faut prendre en compte, en utilisant des méthodes d'analyse appropriées, toutes les composantes de l'incertitude qui ont une importance dans la situation donnée.



**Diagramme des causes et effets**  
**Diagramme d'ICHIKAWA, méthode des « 5 M »**



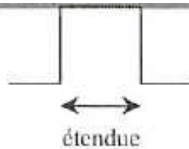


# Notions d'incertitude de mesure

## Quelques exemples de lois de distribution utilisées en métrologie (méthode de type B)

1) Loi uniforme:

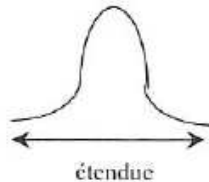
$$u = \frac{\text{étendue}}{2\sqrt{3}}$$



Exemple: résolution, classe d'un instrument

2) Loi normale:

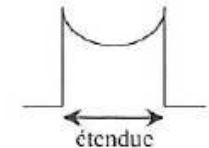
$$u = \frac{\text{étendue}}{6}$$



Exemple: somme de phénomènes ayant tous une faible influence

3) Loi arcsinus:

$$u = \frac{\text{étendue}}{2\sqrt{2}}$$



Exemple: régulation de température

4) Utilisation d'un certificat d'étalonnage:  $u = \frac{I_{\text{certificat}}}{k} = \frac{I_{\text{certificat}}}{2}$





# Notions d'incertitude de mesure

## Etude de la température d'un local :

- **Méthode de type B** : Connaissance des températures extrêmes du local (17°C et 23°C) et choix d'une forme de distribution (uniforme) :

$$t = \frac{23^{\circ}\text{C} + 17^{\circ}\text{C}}{2} = 20^{\circ}\text{C}$$

$$u(t) = \frac{3^{\circ}\text{C}}{\sqrt{3}} = 1,7^{\circ}\text{C}$$

- **Méthode de type A** : on enregistre la température pendant un an puis on traite les données :

**Moyenne :**  $\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + \dots + t_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$

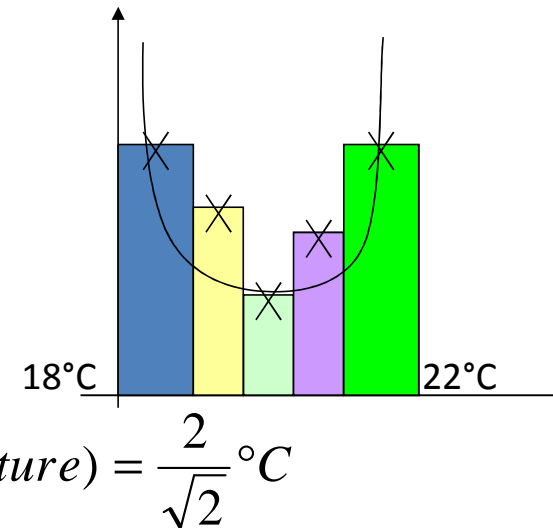
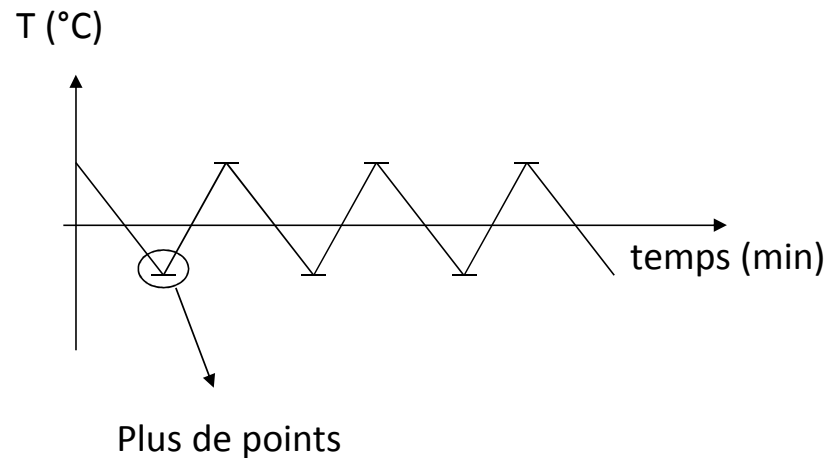
**Incertitude – type :**  $u(t) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}$





# Notions d'incertitude de mesure

Température régulée à  $\pm \delta\theta \Rightarrow u^2(\text{température}) = \frac{\delta\theta^2}{2} \quad u(\text{température}) = \frac{\delta\theta}{\sqrt{2}}$

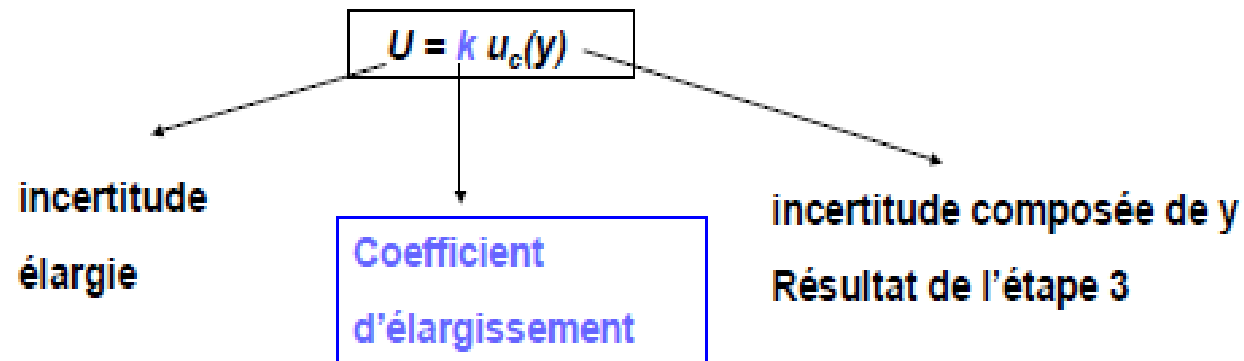


$$u^2(\text{température}) = \frac{(2)^2}{2} (\text{°C})^2 \quad u(\text{température}) = \frac{2}{\sqrt{2}} \text{°C}$$



# Notions d'incertitude de mesure

## Incertitude élargie



(GUM § 2.3.6) facteur numérique utilisé comme multiplicateur de l'incertitude-type composée pour obtenir l'incertitude élargie





# Notions d'incertitude de mesure

## Résultat annoncé

On exprime le résultat du mesurage de la façon suivante :

$y \pm U$  (unité) en donnant la valeur numérique de  $k$

Important pour pouvoir :

Retrouver  $u_c(y)$

L'élever au carré

Le propager

Exemple :  $(30,32 \pm 0,23) \text{ kWh}$  ( $k = 2$ )





# Sommaire

---

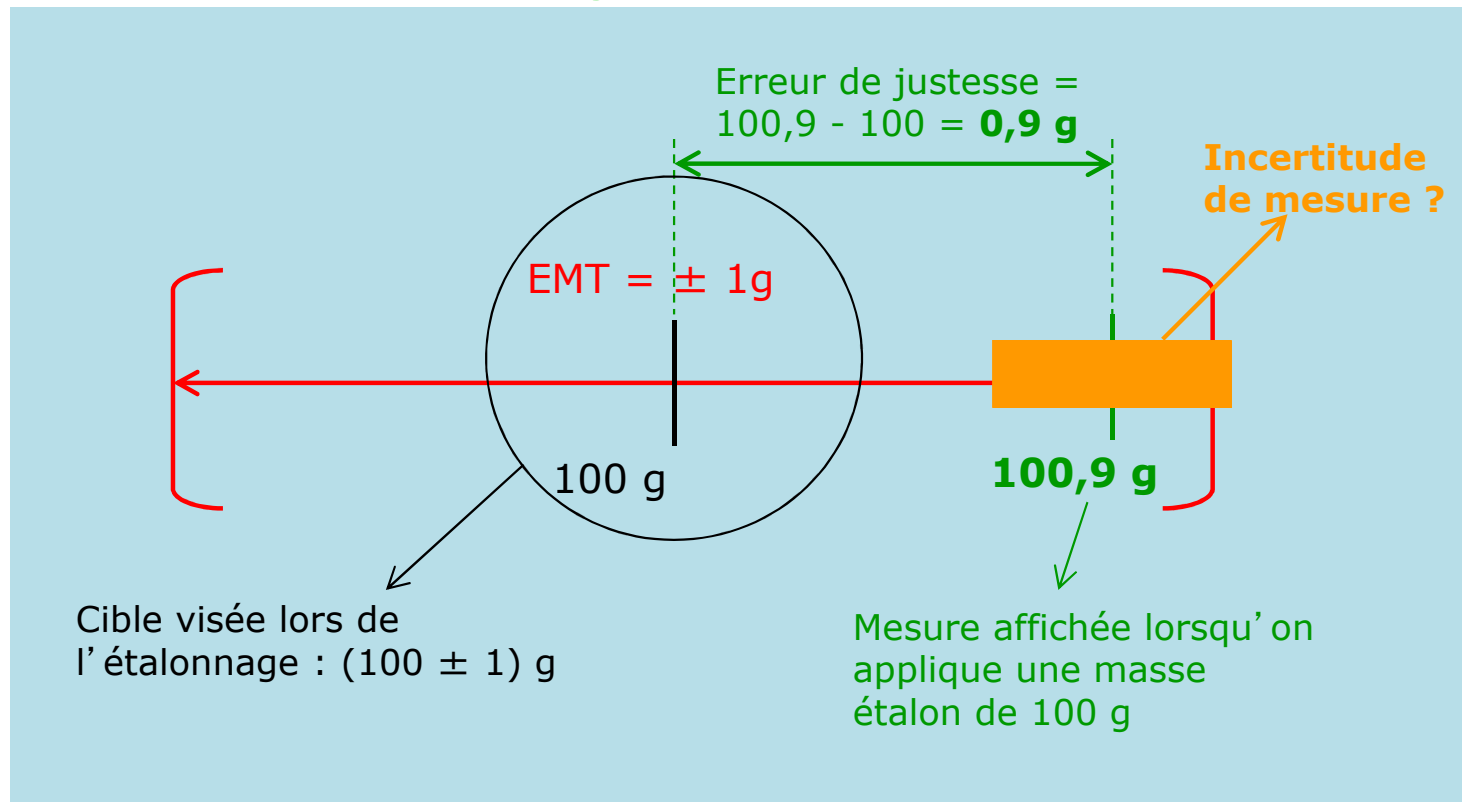
- Contexte et enjeux liés à la métrologie
- Définitions et organisation de la métrologie
- Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie
- Notions d'incertitude de mesure
- Déclaration de conformité
- Rôle d'une « Fonction Métrologique »
- Normes et références





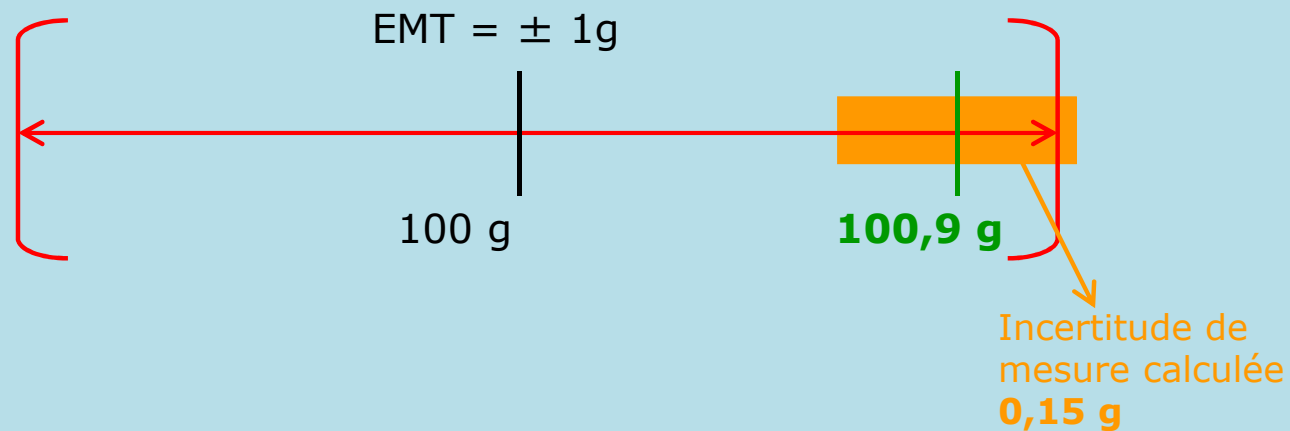
# Déclaration de conformité

## La métrologie : outil de décision





# Déclaration de conformité



Erreur de justesse : Mesure lue – Etalon associé à l'incertitude :

$0,9 - 0,15 = 0,75\text{ g}$  cas favorable ; décision : **CONFORME**

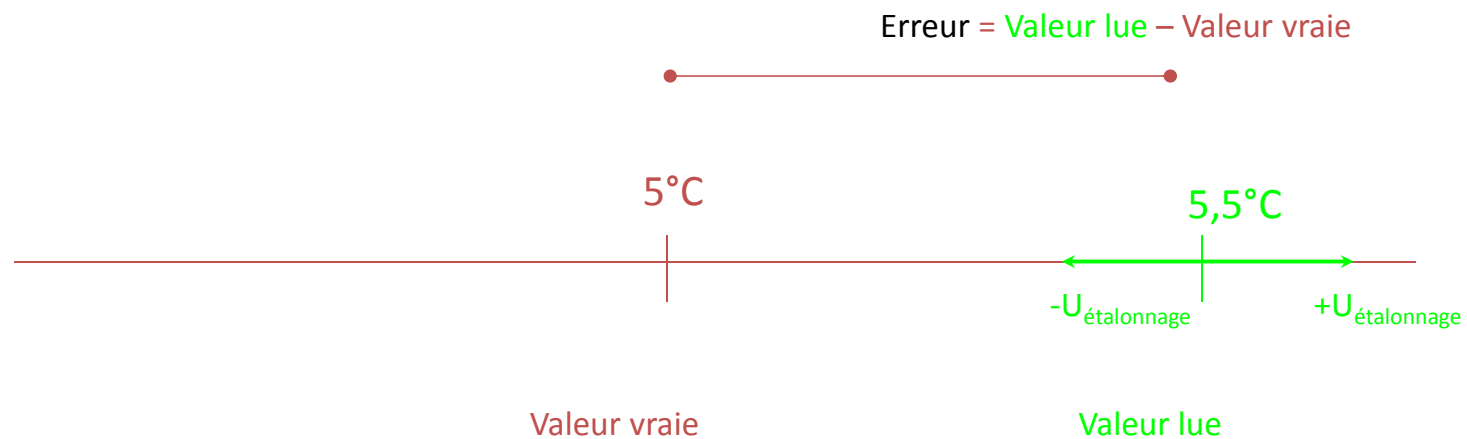
$0,9 + 0,15 = 1,05\text{ g}$  cas défavorable ; décision : **NON CONFORME**





# Déclaration de conformité

## *Utilisation des données d'étalonnage*





# Déclaration de conformité

## *Utilisation des données d'étalonnage*

2 exploitations possibles de l'étalonnage

- Effectuer une CORRECTION systématique de l'erreur de justesse de l'instrument au point de mesure.

OU

- Effectuer une VERIFICATION afin de s'assurer que l'instrument a une erreur de justesse suffisamment faible pour que je la considère comme négligeable.





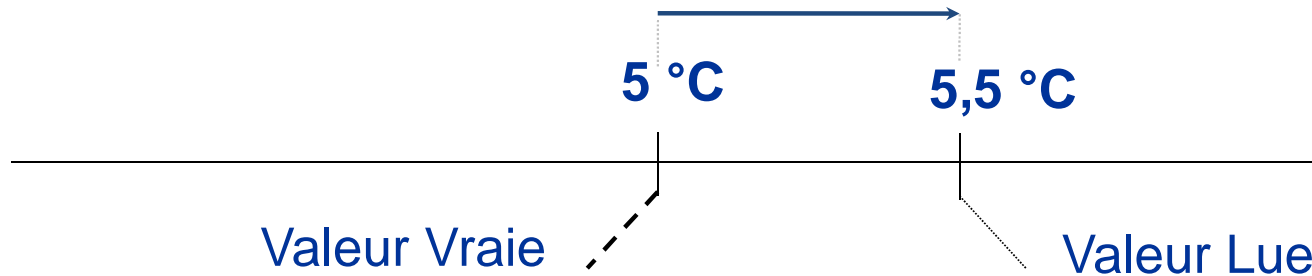
# Déclaration de conformité

## Utilisation des données d'étalonnage

- Effectuer une correction systématique de l'erreur de justesse de l'instrument au point de mesure.

$$\text{CORRECTION} = - \text{ERREUR}$$

Erreur de justesse =  $+0,5^{\circ}\text{C}$



$$\text{Correction} = -0,5^{\circ}\text{C}$$



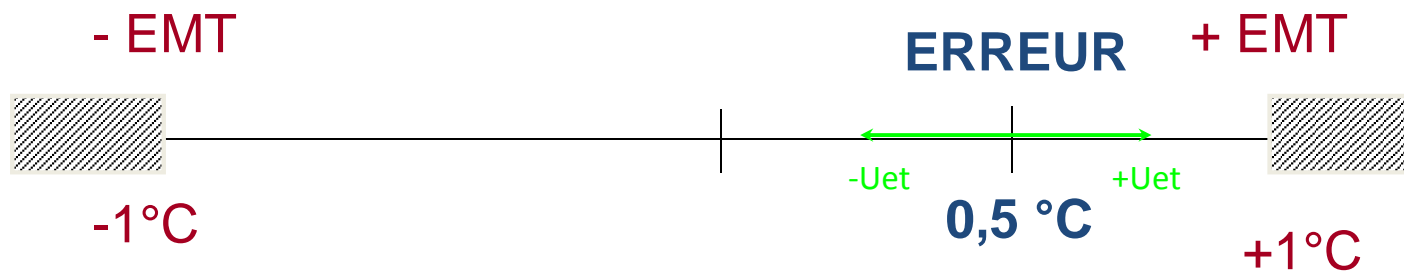


# Déclaration de conformité

## Utilisation des données d'étalonnage

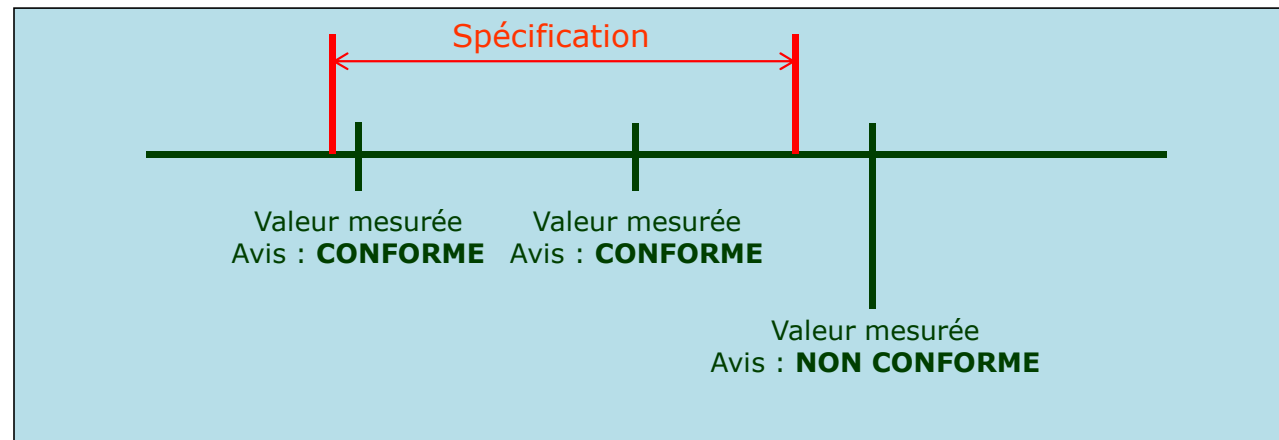
- Effectuer une vérification afin de s'assurer que l'instrument a une erreur de justesse suffisamment faible pour je la considère comme négligeable.

$$| \text{ERREUR} | + U_{\text{étalonnage}} < \text{EMT}$$



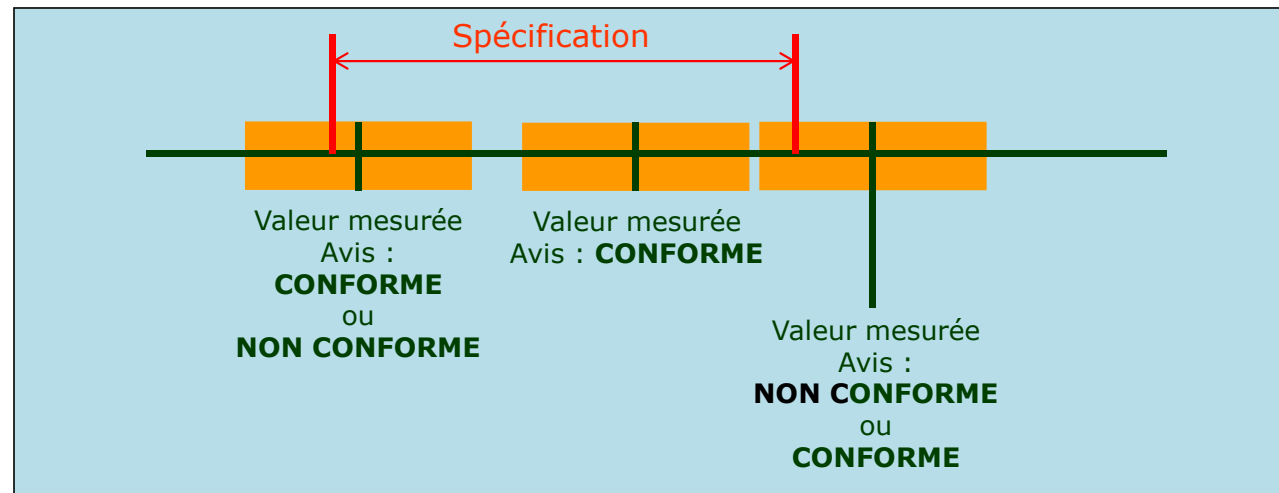


# Déclaration de conformité





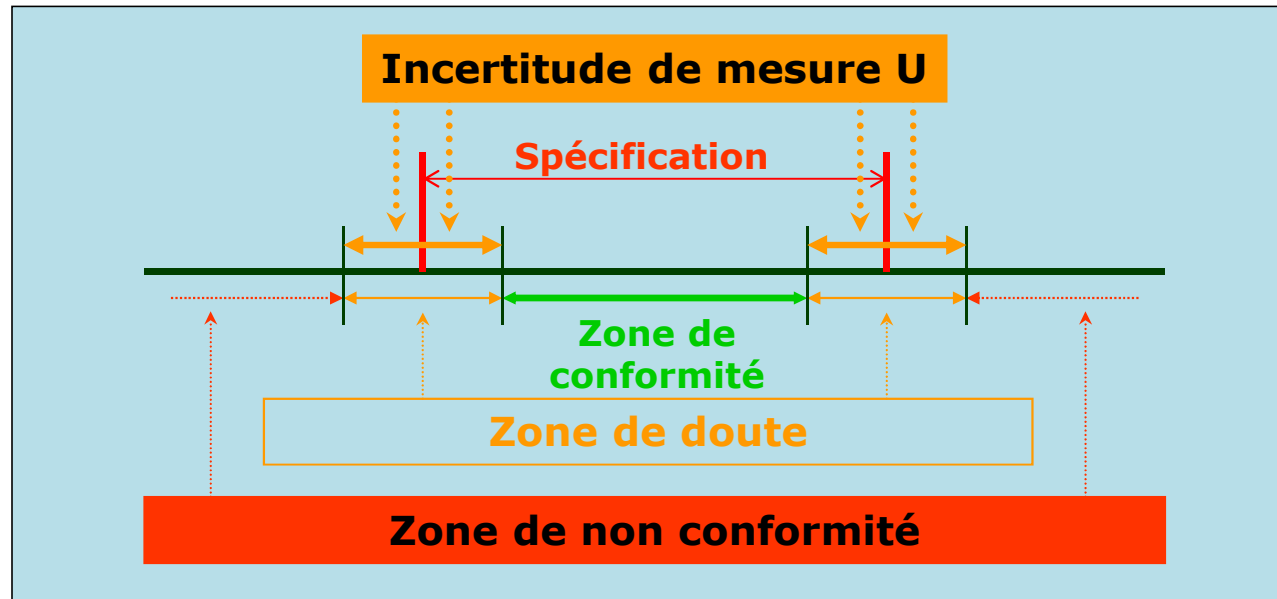
# Déclaration de conformité





# Déclaration de conformité

*Norme ISO 14253-1 (à défaut d'autre convention)*

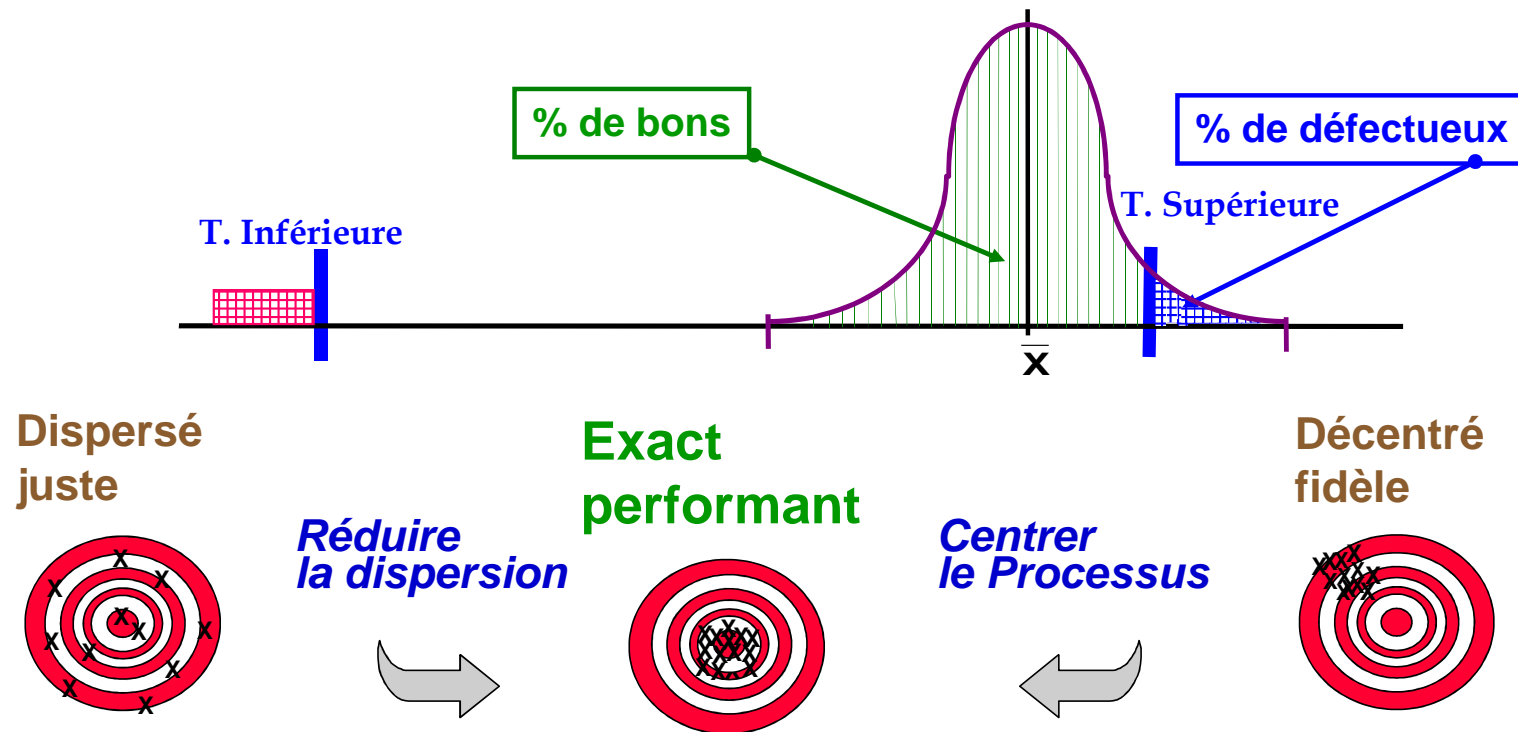




80

# Déclaration de conformité

## La performance et la prise de décision







# Déclaration de conformité

---

Les données fondamentales sur lesquelles s'appuie la décision sont :

- la (ou les) limite(s) de la spécification qui est imposée à la caractéristique du produit ;
- le ou les résultats de mesure/ d'essai de la caractéristique ;
- l'incertitude de mesure affectant le résultat de mesure/ d'essai ;
- le choix du niveau de risque accepté par le client du laboratoire accrédité ;
- la règle de décision (c'est-à-dire la manière de combiner les données précédentes pour déclarer, ou non, la conformité).

En pratique, les principales difficultés rencontrées par les laboratoires pour déclarer, ou non, la conformité, sont les suivantes :

- indisponibilité ou définition insuffisante (et donc interprétation ambiguë) de la **spécification**
- difficulté à évaluer l'incertitude, notamment celle associée aux essais qualitatifs ;
- absence ou méconnaissance de la règle de décision à appliquer.

*D'après LAB REF 02*; Révision 10 : Exigences pour l'accréditation des laboratoires selon NF EN ISO/CEI 17025





# Sommaire

---

- Contexte et enjeux liés à la métrologie
- Définitions et organisation de la métrologie
- Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie
- Notions d'incertitude de mesure
- Déclaration de conformité
- Rôle d'une « Fonction Métrologique »
- Normes et références





# Rôle d'une Fonction Métrologique

---

## *Fonction métrologique (ISO 10012)*

- Ensemble des règles et dispositions régissant l'organisation de la métrologie dans l'entreprise.
- Organisation et dispositions mises en œuvre par l'entreprise pour satisfaire aux exigences normatives relatives à la maîtrise des équipements et processus de mesure.
- Maîtriser l'aptitude à l'emploi de tous les équipements de mesure et processus de mesure utilisés dans l'entreprise et à en donner l'assurance.





# Rôle d'une Fonction Métrologique

---

## *NF EN ISO/CEI 17025*

- L'équipement et le logiciel correspondant utilisés pour les essais, les étalonnages et l'échantillonnage doivent permettre d'obtenir l'exactitude requise et doivent être conformes aux spécifications pertinentes pour les essais et/ou les étalonnages en question. [5.5.2]





# Rôle d'une Fonction Métrologique

---

## ISO 9001

- L'organisme doit utiliser des méthodes appropriées pour la mesure et la surveillance des processus de réalisation nécessaires pour satisfaire aux exigences des clients et ces méthodes doivent confirmer l'aptitude permanente de chaque processus à satisfaire sa finalité. [8.2.3]
- L'organisme doit mesurer et surveiller les caractéristiques du produit afin de vérifier que les exigences relatives au produit sont satisfaites. [8.2.4]





# Rôle d'une Fonction Métrologique

---

## *ISO 14000*

- L'organisme doit établir et maintenir des procédures documentées pour surveiller et mesurer régulièrement les principales caractéristiques de ses opérations et activités qui peuvent avoir un impact significatif sur l'environnement. Ceci doit inclure l'enregistrement des informations permettant le suivi de la performance, des contrôles opérationnels appropriés, et de la conformité aux objectifs et aux cibles de l'organisme.





## Rôle d'une Fonction Métrologique

---

Les normes imposent que les équipements de mesure mis en œuvre permettent d'obtenir l'exactitude requise par les processus considérés.





# Rôle d'une Fonction Métrologique

---

**Rôle :** Maîtriser l'aptitude à l'emploi de tous les équipements de mesure utilisés dans l'entreprise, qui peuvent avoir une influence sur la qualité du produit ou du service.

**Objectifs :** Pouvoir assurer, avec un risque minimal, que l'ensemble des équipements de mesure se trouvent à l'intérieur de limites d'erreurs tolérées, définies par l'utilisateur.



La fonction métrologique doit être intégrée au sein de l'entreprise



Un responsable Métrologie doit être nommé







# Rôle d'une Fonction Métrologique

## Principales tâches du Responsable Métrologie

### 1. Organisation :

- ✚ Organiser la métrologie dans l'entreprise,
- ✚ Définir les compétences et la qualification des personnels,
- ✚ Maîtriser les sous-traitants,
- ✚ Assurer la traçabilité des mesures aux étalons nationaux ou internationaux.

### 2. Gestion du parc d'équipements :

- ✚ Inventorier les équipements de l'entreprise,
- ✚ Classer les instruments,
- ✚ Mettre en place les dossiers individuels des instruments,
- ✚ Définir les intervalles d'étalonnage et/ou de vérification,
- ✚ Indiquer l'état de la vérification ou de l'étalonnage,
- ✚ Aider à évaluer, choisir les instruments de mesure.





# Rôle d'une Fonction Métrologique

## Nécessité de la gestion d'un parc de mesure

### Domaine de comptage énergétique

1 % d'erreur sur le comptage

#### Erreur

10 Wh pour 1 kWh  
Si 10 kWh/jour  
Si 365 jours/an  
Si 1 000 000 Abonnés

#### Résultat

100 Wh pour 10 kWh  
100 Wh par jour  
36500 Wh par an (soit 36,5 kWh)  
36,5 GWh ( $10^9$  Wh)

### Quel degré de confiance peut-on accorder à la mesure ?

Étalonnage et Vérification Périodiques des moyens  
de mesure s'imposent alors...





# Rôle d'une Fonction Métrologique

## Principales tâches du Responsable Métrologie (Suite)

### 3. Définir les besoins métrologiques :

- ✚ Définir les besoins en termes de mesure,
- ✚ Aider à l'évaluation des incertitudes de mesure, vérifier leur compatibilité avec les spécifications à vérifier,
- ✚ Choisir la prestation : Etalonnage ou Vérification,
- ✚ Etablir les programmes de vérification ou d'étalonnage,
- ✚ Etablir les critères d'acceptation pour procéder à la vérification des instruments.

### 4. Réaliser les opérations métrologiques :

- ✚ Vérifier les instruments,
- ✚ Qualifier les bancs d'essais,
- ✚ Empêcher les dérèglages,
- ✚ Protéger les instruments contre les dégradations.

### 5. Qualité - Traçabilité :

- ✚ Mettre en place les actions correctives lorsqu'un appareil de mesure est trouvé « non-conforme ».





# Rôle d'une Fonction Métrologique

## Exigences pour maîtriser la métrologie selon l'ISO 10012

### Exigences pour maîtriser la métrologie

- A. Analyser ses besoins métrologiques
- B. Recenser son parc d'instruments
- C. Choisir le matériel à suivre rigoureusement
- D. Déterminer la périodicité du suivi
- E. Métrologie interne ou externe ?
- F. Sous-traiter ?
- G. Mettre en place une gestion rigoureuse

### Note importante :

- ✚ On peut sous-traiter les opérations d'étalonnage ou de vérification des instruments,
- ✚ On ne peut pas « se débarrasser » de la fonction métrologique.





# Rôle d'une Fonction Métrologique

---

## A. Analyses ses Besoins Métrologiques

- + Qu'elle exactitude recherchée ?
- + Quelles sont les méthodes de mesure possibles ?
- + Choix de l'instrument à utiliser ?
- + Comment assurer la qualité des mesures ?
- + Faut-il des locaux et personnel qualifié en permanence ?
- + Faut-il sous traiter ?





# Rôle d'une Fonction Métrologique

## B. Recensement du parc d'instruments

Désignation	Type et N° de série de l'appareil	Constructeur	Code Laboratoire	Périodicité	Date du dernier raccordement	N° du dernier certificat d'étalonnage	Lieu
Caisse d'injection (courant, tension et déphasage)	-----/ 34128	EMH	METRO-xxx	-----	xx/xx/xxxx	005970	DAKKS Allemagne
Compteur énergétique étalon de travail	----- / 20863	MTE/EMH	METRO-xxx	06 mois	xx/xx/xxxx	xxx/015/10	En interne
Multimètre	xxx / 86520216	Fluke	METRO-xxx	12 mois	-----	-----	DEFNAT-Tunisie
Banc d'étalonnage compteur	MTE-F3-10.10-400S	MTE	METRO-xxx	36 mois	-----	-----	DAKKS-PTB
Compteur étalon de travail	PWS 3.3	MTE	METRO-xxx	06 mois	-----	-----	LNE-France





# Rôle d'une Fonction Métrologique

## C. Critères du choix du matériel à suivre

Criticité par rapport au processus industriel ou d'essai

- ✚ Est-ce que l'instrument a une incidence directe sur la qualité des résultats (l'exactitude de la mesure est déterminante quant à la déclaration de la conformité) ?,
- ✚ Est-ce que l'instrument a une incidence sur les coûts ?,
- ✚ Est-ce que l'instrument a une incidence sur la sécurité ?.

**Note :** On ne peut pas appliquer la même rigueur de suivi à tous les instruments de mesure.



**S'interroger sur les conséquences éventuelles d'une dérive non détectée,  
évaluer le risque et le comparer au coût total.**





# Rôle d'une Fonction Métrologique

---

## D. Périodicité de Suivi

Une période d'étalonnage trop courte est coûteuse

Des intervalles trop longs risquent d'empêcher de déceler une dérive



**Elaboration de Carte de Contrôle ou de Suivi**

**Ainsi la périodicité d'étalonnage est variable  
c'est-à-dire elle peut être rallongée ou raccourcie**







# Rôle d'une Fonction Métrologique

## E. Métrologie interne ou externe ?

- Etalonnage du parc d'équipements dans un laboratoire accrédité
- Raccordement en interne des instruments de mesure (réalisé soi-même dans son entreprise)

Le choix entre les deux propositions dépendra essentiellement :

- + Du niveau d'incertitude de la mesure,
- + De la nature du parc,
- + De l'offre de la prestation de service,
- + Des moyens d'étalonnage disponibles,
- + Des coûts comparés des deux solutions,
- + De la qualification du personnel,
- + De la disponibilité des procédures...





# Rôle d'une Fonction Métrologique

## F. Sous-traitance ?

Le Sous-traitant choisi répond bien aux critères de l'assurance qualité : la meilleure garantie est offerte par les laboratoires accrédités.

### Adéquation entre les exigences de l'organisme et les performances du moyen de mesure (exactitude, incertitude)

Le rapport définissant la relation entre l'incertitude liée à la chaîne de travail, constituée d'un étalon de travail et de son indicateur, et les limites d'acceptation tolérées dans le « processus » est donné par l'expression suivante :

$$\text{Rapport} = \frac{\pm 2.u \text{ (Incertitude de l'étalon de travail)}}{\text{Limite d'acceptation}}$$

Un rapport entre les deux valeurs précédemment définies, compris entre 1/10 et 1/3 est souvent pratiqué.

Fixer un rapport strict de 1/10 par exemple induit dans bien des cas des difficultés techniques.





# Rôle d'une Fonction Métrologique

## Adéquation entre le Moyen de Mesure et les Exigences du Processus : Application

**Exemple : Le besoin actuel d'un organisme est exprimé essentiellement autour de la vérification et le contrôle des compteurs énergétiques électriques de différentes classes de précision (d'exactitude)**

*La démarche suivie pour bien définir le besoin de vérification repose sur la définition d'abord des prescriptions exigées par l'opération de vérification puis sur le choix du matériel nécessaire pour valider ces prescriptions.*



**Dans notre cas, la tolérance finale sera égale à :  
 $\inf (\pm 0,2 \% ; \pm 2 \%) = \pm 0,2 \%$**





## Rôle d'une Fonction Métrologique

---

Si on choisit, par exemple, un rapport R égal à :

$$\text{Rapport} = \frac{1}{3} \quad ; \quad \text{alors} \quad \frac{2 \cdot u}{0,4 \%} = \frac{1}{3}$$

$$\text{donc } u(\text{relative}) = 0,07 \%$$





# Rôle d'une Fonction Métrologique

---

## G. Mise en place d'une Gestion documentaire rigoureuse

- ✚ Formalisation des documents de gestion documentaire (procédures, instructions, enregistrements,...),
- ✚ Intégration dans le système de management de l'entreprise,
- ✚ Etablissement et mise à jour des fiches de vie des équipements.





# Rôle d'une Fonction Métrologique

## *Organisation en 10 points*

1. Étudier les besoins en mesure et essais
2. Étudier les spécifications
3. Raccorder aux étalons nationaux
4. Recenser les moyens de mesure et d'essai
5. Qualifier des moyens de mesure et d'essai
6. Définir les procédures de mise en œuvre
7. Définir les procédures d'étalonnage et de vérification
8. Définir et contrôler les programmes de maintenance
9. Définir les responsabilités
10. Suivre l'application des procédures (audit, revue)

 **GESTION DU PARC**





# Rôle d'une Fonction Métrologique

## Identification de l'instrument :

Désignation :	Date de réception	Doc. de référence
Fabricant :		
N° de série :	État à la réception	Service D'affectation
Codification interne :		

## Étalonnage/Vérification :

Instructions :	
Périodicité :	
Opérateur :	

## Maintenance :

Instructions :	
Périodicité :	

## Interventions :

Date	Opération	Résultats/Références	Opérateur
10/10/2014	Acquisition	Certificat d'étalonnage (COFRAC)	Responsable Technique
05/03/2016	Vérification	Dérive	Responsable Métrologie
12/03/2017	Réétalonnage	Réglage + Conforme	CNCC-TUNAC



ue





## Rôle d'une Fonction Métrologique

---

- + Comment sont consignés les résultats des étalonnages et/ou vérifications ?
- + Quelles sont les règles de conservation et d'archivage des documents métrologiques (procédures, certificats, constats, ... ) ?
- + Comment est définie cette périodicité ?
- + Comment sont revues les périodicités d'étalonnage et/ou de vérification ?
- + Existe-t-il des procédures d'étalonnage et/ou de vérification internes ?
- + Lorsque les procédures existent, le mode opératoire détaille-t-il parfaitement les opérations à réaliser ?
- + Les procédures de vérifications métrologiques prévoient-elles les critères d'acceptation sur les équipements vérifiés ?
- + Comment maîtrisez-vous les conditions d'environnement lors des étalonnages ou des vérifications internes ?
- + Comment sont raccordés métrologiquement les mesures aux étalons nationaux.
- + Les étalons sont-ils gérés différemment que les équipements de mesure ?
- + Comment faites-vous lorsqu'un instrument critique est déclaré non-conforme suite à une vérification ?





# Rôle d'une Fonction Métrologique

## Audit Métrologique

- + Existe-t-il une liste détaillée et exhaustive des équipements de mesure de l'entreprise ?
- + Comment sont sélectionnés les équipements de mesure, ainsi que l'exactitude à atteindre ?
- + Comment maîtrisez-vous l'aptitude des instruments (l'incertitude de mesure vis à vis de la tolérance sur le produit ?
- + Comment et qui sélectionne les équipements de mesure en conséquence ?
- + Les équipements devant être suivis sont-ils parfaitement identifiés (listing, situation, étiquette) ?
- + Existe-t-il des procédures de gestion des équipements de mesure ?
- + Qui est responsable de la gestion des équipements de mesure ?
- + Existe-t-il un planning de suivi des instruments de mesure dans le temps ?
- + Comment mettez-vous en œuvre un instrument neuf ?
- + Existe-t-il une procédure de réception des instruments neufs ?
- + Les fiches de vie sont-elles tenues à jour ?
- + Les instruments dits "critiques" sont-ils périodiquement étalonnés ou vérifiés ?





## Rôle d'une Fonction Métrologique

---

- ✚ Avez-vous défini des conditions de manutention, de protection et de stockage des équipements de mesure et des étalons ?
- ✚ Existe-t-il des procédures de maintenance et des enregistrements de cette maintenance (préventive ou corrective) ?
- ✚ Si des équipements de mesure sont fournis par le client, sont-ils suivis de façon particulière ?
- ✚ Comment les utilisateurs sont-ils informés des vérifications ou des étalonnages des équipements de mesure ?
- ✚ Le personnel utilisateur des équipements de mesure est-il formé à l'utilisation de ceux-ci et comment ?
- ✚ Existe-t-il des enregistrements des formations à l'utilisation des équipements de mesure ?
- ✚ Comment sont formés les personnels qui étalonnent ou vérifient les équipements de mesure ?





# Rôle d'une Fonction Métrologique

---

- + Comment évaluez-vous les incertitudes d'étalonnage ou de vérification ?
- + Comment sont suivies les mises à jour des documents de référence et des normes ?
- + Procédez-vous à une qualification des logiciels et supports informatiques destinés à votre instrumentation ?
- + Avez-vous une gestion informatisée de votre parc d'équipements de mesure ? Quel logiciel ? Existe-t-il une documentation technique ?





# Sommaire

---

- Contexte et enjeux liés à la métrologie
- Définitions et organisation de la métrologie
- Notions de vocabulaire spécifique à la métrologie
- Notions d'incertitude de mesure
- Déclaration de conformité
- Rôle d'une « Fonction Métrologique »
- Normes et références





# Normes et références

## Les normes de base

- **NF ISO/CEI GUIDE 99 (août 2011) : Vocabulaire international de métrologie - Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM)**
- **NF ISO/CEI GUIDE 98-3 (juillet 2014) : Incertitude de mesure - Partie 3 : guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM)**
- **NF EN ISO 10012** : Exigences pour les processus et les équipements de mesure (sept. 2003) remplace **NF X 07 010**
- **NF ISO 5725-1 à 6** : Application de la statistique - Exactitude (justesse et fidélité) des résultats et méthodes de mesure (1994)
- **FD ISO Guide 30** : Termes et définitions utilisés en rapport avec les matériaux de référence (nov. 95)
- **NF EN ISO/CEI 17025** : Prescriptions générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais (sept. 2005)
- **NF EN ISO/CEI 15189** : Laboratoires d'analyse de biologie médicale – Exigences particulières concernant la qualité et les compétences





## Normes et références

### *Des normes de base aux fascicules de documentation Afnor (normes d'organisation)*

- *FD X 07-012 :* Certificat d'étalonnage
- *FD X 07-013 :* Critères de choix Vérification/Étalonnage
- *FD X 07-014 :* Optimisation des intervalles de confirmation métrologique
- *FD X 07-015 :* Raccordement des résultats de mesure aux étalons
- *FD X 07-016 :* Établissement des procédures d'étalonnage et vérification
- *FD X 07-018 :* Fiche de vie des équipement de mesure
- *FD X 07-019 :* Relations clients/fournisseurs en métrologie
- *FD X 07-021 :* Estimation et utilisation de l'incertitude
- *FD X 07-022 :* Utilisation de l'incertitude de mesure
- *FD X 07-028 :* Estimation des incertitudes de mesures de température
- *FD X 07-029-1-2 :* Procédure d'étalonnage et de vérification des sondes et thermomètres à résistance





# Normes et références

## Bibliographie

- MFQ, Métrologie dans l'entreprise. Outil de la qualité, 1995.
- CTI, la Métrologie en PME-PMI. Pratique de la mesure dans l'industrie, 1996.
- Étalons et unités de mesure, Mai 1996, édité par le BNM.
- Métrologie - Gérer et maîtriser les équipements de mesure.
- Qualité dans les laboratoires d'étalonnage et d'essais. G. REVOIL - AFNOR
- Estimer l'incertitude de mesure - Perruchet et Priel – AFNOR – Explication de 2 méthodes à employer pour estimer les incertitudes de mesure.
- Aide à la démarche pour l'estimation et l'utilisation des résultats de mesure et d'essais X 07-021.
- Alain Marchal : « Matériaux de référence. Étalonnage en chimie analytique et essais de matériaux », Techniques de l'Ingénieur / Mesures et contrôle (Article R52 : 1994).
- Un roman sur mesure – C. BINDI – AFNOR – Mise en place d'une fonction métrologie orientée sur le domaine dimensionnel.
- Incertitudes de mesure - Tome 1 Applications concrètes pour les étalonnages Auteurs : Abdérafi CHARKI | Denis Louvel | Eliane RENAOT | André Michel | Teodor TIPLICA | Editeur : EDP SCIENCES année 2012.
- Incertitudes de mesure - Tome 2 Applications concrètes pour les essais Auteurs : Abdérafi CHARKI | Patrick GÉRASIMO | Mohamed EL MOUFTARI | Yvon MORI et Christian SAUVAGEOT | Editeur : EDP SCIENCES Année 2012.

